

02P18848



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①0 DE 101 51 568 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 T 1/29**  
G 21 K 1/02  
B 81 C 1/00

②1 Aktenzeichen: 101 51 568.5  
②2 Anmeldetag: 23. 10. 2001  
③3 Offenlegungstag: 8. 5. 2003

DE 101 51 568 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Hoheisel, Martin, Dr., 91056 Erlangen, DE; Sklebitz,  
Hartmut, 91056 Erlangen, DE

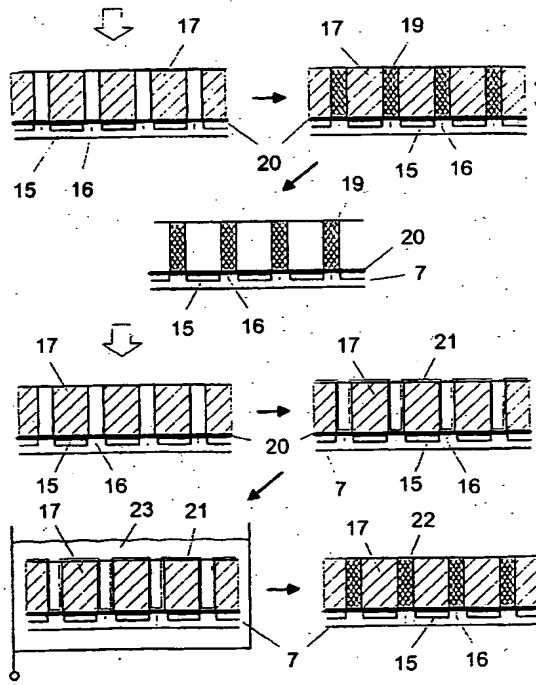
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Aufbringen eines Streustrahlenrasters auf einen Röntgendetektor

⑤7 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufbringen eines Streustrahlenrasters auf einen Röntgendetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen (14), die eine Detektorfläche mit für Röntgenstrahlung empfindlichen Detektionsbereichen (15) und weniger empfindlichen Zwischenbereichen (16) bilden. Bei dem Verfahren wird eine Grundstruktur (17) für den Streustrahlenraster mittels einer Rapid Prototyping Technik derart über der Detektorfläche direkt auf dem Röntgendetektor aufgebaut und anschließend mit einem Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material beschichtet oder verfüllt, dass eine absorbierende Struktur (24) entsteht, die über den Zwischenbereichen (16) der Detektorfläche liegt.

Durch das vorliegende Verfahren können Moiré-Störungen bei der Röntgenbildaufnahme vermieden und die detektive Quanteneffizienz (DQE) erhöht werden.



DE 101 51 568 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufbringen eines Streustrahlenrasters auf einen Röntgendetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen sowie einen Röntgendetektor mit einem Streustrahlenraster, das mit diesem Verfahren aufgebracht wurde.

[0002] In der Röntgenbildtechnik werden heutzutage hohe Anforderungen an die Bildqualität der Röntgenaufnahmen gestellt. Bei derartigen Aufnahmen, wie sie insbesondere in der medizinischen Röntgendiagnostik durchgeführt werden, wird ein zu untersuchendes Objekt von Röntgenstrahlung einer annähernd punktförmigen Röntgenquelle durchleuchtet und die Schwächungsverteilung der Röntgenstrahlung auf der der Röntgenquelle gegenüberliegenden Seite des Objektes zweidimensional erfasst. Auch eine zeilenweise Erfassung der durch das Objekt geschwächten Röntgenstrahlung kann bspw. in Computertomographie-Anlagen vorgenommen werden. Als Röntgendetektoren kommen neben Röntgenfilmen und Gasdetektoren zunehmend Festkörperdetektoren zum Einsatz, die in der Regel eine matrixförmige Anordnung optoelektronischer Halbleiterbauelemente als lichtelektrische Empfänger aufweisen. Jeder Bildpunkt der Röntgenaufnahme sollte idealerweise die Schwächung der Röntgenstrahlung durch das Objekt auf einer geradlinigen Achse von der punktförmigen Röntgenquelle zu den dem Bildpunkt entsprechenden Ort der Detektorfläche entsprechen. Röntgenstrahlen, die von der punktförmigen Röntgenquelle auf dieser Achse geradlinig auf den Röntgendetektor auftreffen werden als Primärstrahlen bezeichnet.

[0003] Die von der Röntgenquelle ausgehende Röntgenstrahlung wird im Objekt jedoch aufgrund unvermeidlicher Wechselwirkungen gestreut, so dass neben den Primärstrahlen auch Streustrahlen, sog. Sekundärstrahlen, auf den Detektor auftreffen. Diese Streustrahlen, die in Abhängigkeit von Eigenschaften des Objektes bei diagnostischen Bildern bis über 90% der gesamten Signal-Aussteuerung eines Röntgendetektors verursachen können, stellen eine zusätzliche Rauschquelle dar und verringern daher die Erkennbarkeit feiner Kontrastunterschiede. Dieser wesentliche Nachteil der Streustrahlung ist dadurch begründet, dass aufgrund der Quanteneigenschaft der Streustrahlung ein signifikanter zusätzlicher Rauschanteil in der Bildaufnahme verursacht wird.

[0004] Zur Verringerung der auf die Detektoren auftretenden Streustrahlungsanteile werden daher zwischen dem Objekt und dem Detektor sog. Streustrahlenraster eingesetzt. Streustrahlenraster bestehen aus regelmäßig angeordneten, die Röntgenstrahlung absorbierenden Strukturen, zwischen denen Durchgangskanäle oder Durchgangsschlitze für den möglichst ungeschwächten Durchgang der Primärstrahlung ausgebildet sind. Diese Durchgangskanäle bzw. Durchgangsschlitze sind bei fokussierten Streustrahlenrastern entsprechend dem Abstand zur punktförmigen Röntgenquelle, d. h. dem Abstand zum Fokus der Röntgenröhre, auf den Fokus hin ausgerichtet. Bei nicht fokussierten Streustrahlenrastern sind die Durchgangskanäle bzw. Durchgangsschlitze über die gesamte Fläche des Streustrahlenrasters senkrecht zu dessen Oberfläche ausgerichtet. Dies führt jedoch zu einem merklichen Verlust an Primärstrahlung an den Rändern der Bildaufnahme, da an diesen Stellen ein größerer Teil der einfallenden Primärstrahlung auf die absorbierenden Bereiche des Streustrahlenrasters trifft.

[0005] Zur Erzielung einer hohen Bildqualität werden sehr hohe Anforderungen an die Eigenschaften von Röntgen-Streustrahlenrastern gestellt. Die Streustrahlen sollen einerseits möglichst gut absorbiert werden, während andererseits ein möglichst hoher Anteil an Primärstrahlung unge-

schwächt durch den Streustrahlenraster hindurchtreten soll. Eine Verminderung des auf die Detektorfläche auftreffenden Streustrahlenanteils lässt sich durch ein großes Verhältnis der Höhe des Streustrahlenrasters zur Dicke bzw. dem Durchmesser der Durchgangskanäle oder Durchgangsschlitze, d. h. durch eine hohes Schachtverhältnis, erreichen. Wegen der Dicke der zwischen den Durchgangskanälen oder Durchgangsschlitzen liegenden absorbierenden Struktur- oder Wandelemente kann es jedoch zu Bildstörungen durch Absorption eines Teils der Primärstrahlung kommen. Gerade beim Einsatz von Festkörperdetektoren führen Inhomogenitäten der Raster, d. h. Abweichungen der absorbierenden Bereiche von ihrer Ideallage, zu Bildstörungen durch eine Abbildung der Raster im Röntgenbild.

[0006] Zur Minimierung von Bildstörungen durch Streustrahlenraster ist es bekannt, die Raster während der Aufnahme in lateraler Richtung zu bewegen. Bei sehr kurzen Belichtungszeiten von bspw. 1-3 ms können aber auch hier durch ungenügende Bewegungsgeschwindigkeit der Raster Streifen im Bild auftreten. Auch bei sehr langen Belichtungszeiten können störende Streifen durch die Umkehr der Raster-Bewegungsrichtung während der Belichtung auftreten.

[0007] In letzter Zeit werden für die Röntgenbildaufnahme zunehmend Festkörperdetektoren eingesetzt, die aus mehreren matrixförmig angeordneten Detektorelementen gebildet sind. Die Detektorelemente sind hierbei in einem in der Regel quadratischen oder rechteckigen Gitter angeordnet. Auch bei derartigen Festkörperdetektoren muss durch effektive Unterdrückungsmaßnahmen das Auftreffen von Streustrahlen auf die durch die Detektorelemente gebildete Detektorfläche soweit wie möglich reduziert werden. Aufgrund der regelmäßigen Strukturierung der durch die Detektorelemente gebildeten Bildelemente des Detektors besteht hier zusätzlich die Gefahr, dass die Strukturen von Bildelementen und Streustrahlenrastern miteinander interferieren. Dadurch können störende Moiré-Erscheinungen auftreten. Diese können zwar in bestimmten Fällen durch eine nachgeschaltete Bildverarbeitungsmaßnahme minimiert oder beseitigt werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn ihr Projektionsbild auf dem Detektor absolut unveränderlich ist.

[0008] In der US 6,021,173 A wird ein Ansatz beschrieben, der Moiré-Strukturen beim Betrieb eines Röntgendetektors mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen in Verbindung mit einem stationär angeordneten Streustrahlenraster vermeiden soll. Der Streustrahlenraster ist bei dieser Druckschrift über der Detektorfläche direkt auf dem Röntgendetektor aufgebracht. Die absorbierenden Strukturelemente des Streustrahlenrasters sind in einem Abstand zueinander ausgebildet, der geringer ist als die Ausdehnung des kleinsten auflösbaren Details im Röntgenbild. Die regelmäßig angeordneten absorbierenden Strukturelemente bilden sich daher mit einer so hohen Ortsfrequenz ab, dass sie jenseits des Auflösungsvermögens des Röntgendetektors liegen. Da der Abstand der Strukturelemente im Streustrahlenraster nicht beliebig klein gewählt werden kann, muss ein Detektor mit einer adaptiert eingeschränkten Ortsauflösung eingesetzt werden. Dies führt jedoch zu einer nicht wünschenswerten Verringerung der detektiven Quanteneffizienz (DQE) bei hohen Ortsfrequenzen.

[0009] Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren zum Aufbringen eines Streustrahlenrasters auf einen Röntgendetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen anzugeben, mit dem eine Anordnung erhalten wird, die eine Bildaufnahme ohne Moiré-Strukturen bei hoher detektiver Quanteneffizienz ermöglicht.

[0010] Die Aufgabe wird mit dem Verfahren gemäß Pa-

tentanspruch 1 gelöst. Patentanspruch 10 gibt einen Röntgendetektor mit einem gemäß dem Verfahren aufgetragenen Streustrahlenraster an. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie des Röntgendetektors sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0011] Bei dem vorliegenden Verfahren wird der Streustrahlenraster direkt auf den Röntgendetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen aufgebracht, die eine Detektorfläche mit für Röntgenstrahlung empfindlichen Detektionsbereichen und weniger bzw. nicht empfindlichen Zwischenbereichen bilden. Das Aufbringen des Streustrahlenrasters erfolgt durch Aufbauen einer Grundstruktur für den Streustrahlenraster mittels einer Rapid Prototyping Technik, insbesondere mit der Technik der Stereolithographie, über der Detektorfläche des Röntgendetektors und anschließende Beschichtung oder Verfüllung der Grundstruktur mit einem Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material. Die Grundstruktur wird dabei derart über der Detektorfläche auf den Röntgendetektor aufgebracht, dass eine Röntgenstrahlung absorbierende Struktur entsteht, die über den Zwischenbereichen der Detektorfläche liegt. Diese für Röntgenstrahlung weniger oder nicht empfindlichen Zwischenbereiche der Detektorfläche entsprechen den Bereichen, in denen die einzelnen Detektorelemente aneinander stoßen. Da die Detektorelemente in der Regel nicht über die gesamte Fläche lichtempfindlich sind, ergeben sich unempfindliche Zwischenbereiche in den Randbereichen der einzelnen Detektorelemente.

[0012] Die Grundstruktur für den Streustrahlenraster wird bei dem vorliegenden Verfahren derart aufgebaut, dass sich die absorbierenden Strukturelemente vorzugsweise lediglich über den Zwischenbereichen auf dem Detektor erstrecken. Können die Strukturelemente aufgrund besonders schmaler Zwischenbereiche nicht mit einer ausreichend geringen Dicke erzeugt werden, so liegen sie im Kontaktbereich mit der Detektoroberfläche zumindest symmetrisch über den Zwischenelementen. Es versteht sich von selbst, dass die absorbierenden Strukturelemente mit zunehmender Höhe des Streustrahlenrasters von dieser Symmetrie abweichen, wenn ein fokussierter Streustrahlenraster auf den Detektor aufgebracht wird.

[0013] Durch den Einsatz einer Rapid Prototyping Technik beim Aufbau der Grundstruktur können sehr filigrane Strukturen mit sehr hoher Genauigkeit erzeugt werden. Bei der Rapid Prototyping Technik werden 3D-CAD-Konstruktionen, hier die Geometrie der Grundstruktur, in Volumendaten im CAD-System konvertiert. Das 3D-Volumenmodell für das Rapid Prototyping wird anschließend in einem Rechner in Querschnitte aufgeteilt. Die Querschnitte haben eine Schichtdicke von 100 µm oder darunter. Nach dem Übertragen der Daten auf eine Rapid Prototyping Anlage wird die ursprüngliche Form Schicht für Schicht aufgebaut. Im vorliegenden Verfahren wird dabei eine Rapid Prototyping Technik eingesetzt, bei der der Schichtaufbau durch Einwirkung von Strahlung, insbesondere durch Laserstrahlung, erfolgt. Gerade Laserstrahlung bietet hierbei den Vorteil der Erzeugung sehr filigraner Strukturen.

[0014] In der bevorzugten Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird für den Aufbau der Grundstruktur die Technik der Stereolithographie eingesetzt. Bei diesem Verfahren bildet ein computergesteuerter UV-Laserstrahl die jeweiligen Konturen der einzelnen Schichten des 3D-Volumenmodells der Grundstruktur auf einem flüssigen Polymerharz ab. Das Harz härtet durch die Einwirkung des Lasers an den belichteten Stellen bzw. Flächen aus. Dann wird die Bauteilplattform der Anlage abgesenkt und eine neue dünne Schicht Photopolymer-Harz aufgetragen. Durch Wiederholung dieser Schritte wird sukzessive die vollständige

Geometrie der Grundstruktur von unten nach oben aufgebaut. Im vorliegenden Fall wird der Röntgendetektor selbst auf der Bauplattform angebracht und während des schichtweisen Aufbaus der Grundstruktur mit der Bauplattform abgesenkt. Es versteht sich von selbst, dass der Röntgendetektor hierbei geeignet vor dem flüssigen Polymer geschützt werden muss. In einer besonderen Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird die Technik der Mikrostereolithographie zur Erzeugung der Grundstruktur eingesetzt. Diese Technik ermöglicht ein schnelleres Aufbauen der Grundstruktur mit hoher Genauigkeit.

[0015] Die Grundstruktur kann beim vorliegenden Verfahren derart auf den Röntgendetektor aufgebracht werden, dass die Geometrie der Grundstruktur der um eine bestimmte Schichtdicke reduzierten Geometrie der späteren absorbierenden Strukturelemente entspricht. Anschließend wird diese Grundstruktur lediglich noch mit einem die Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material hoher Kernladungszahl, beispielsweise mit Blei, beschichtet, um die absorbierenden Strukturelemente des Streustrahlenrasters zu erhalten.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform wird die Grundstruktur als Negativform für den Streustrahlenraster auf den Röntgendetektor aufgebracht, wobei die für die absorbierenden Strukturelemente vorgesehener Bereiche frei bleiben. Anschließend werden diese freibleibenden Zwischenräume der Grundstruktur mit einem stark absorbierenden Material verfüllt. Diese Verfüllung kann mit unterschiedlichen Techniken erfolgen.

[0017] In einer Ausführungsform werden die Zwischenräume über ein galvanisches Verfahren aufgefüllt, bei dem zunächst eine Galvanik-Startschicht, bspw. durch Sputtern, auf der Grundstruktur einschließlich der in den Zwischenräumen vorhandenen Seitenwandungen und den freiliegenden Oberflächenbereichen des Röntgendetektors – aufgebracht wird. Diese elektrisch leitfähige Startschicht wird mit einem Pol einer Stromquelle verbunden. Anschließend wird die gesamte Anordnung in eine Elektrolyt-Flüssigkeit eingetaucht, bis die Zwischenräume durch Abscheidung des absorbierenden Materials aufgefüllt sind. Während der Beschichtung sollte eine möglichst homogene Umwälzung der Elektrolyt-Flüssigkeit sichergestellt werden. Weiterhin müssen die Detektorstrukturen in geeigneter Weise vor der Einwirkung des Elektrolyten und der bei der Elektrolyse auftretenden Temperaturen geschützt werden.

[0018] Bei einer weiteren Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens erfolgt das Verfüllen durch Vergießen der Zwischenräume mit einem niedrig schmelzenden, die Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material. Hierbei muss ein Material gewählt werden, das beim Detektor weder während des Vergusses noch durch spätere Diffusion Schaden bewirkt. Für Detektoren, die auf amorphem Selen basieren, ist sicherzustellen, dass während des Vergusses die Temperaturen des Selen 40–50°C nicht übersteigen, damit keine Kristallisation stattfindet. Dies kann durch wärmeisolierende Zwischenschichten zwischen der Oberfläche des Detektors und der Grundstruktur und/oder durch zusätzliche Kühlung des Detektors erreicht werden. Weiterhin kann es von Vorteil sein, während der Verfüllung reduzierten Luftdruck oder Vakuum anzuwenden, um Lufteinschlüsse beim Verfüllen zu reduzieren oder zu vermeiden. Als bevorzugte Materialien für das Verfüllen der Zwischenräume sind Eutektika, Legierungen oder Elemente geeignet, die zumindest einen der Stoffe Blei, Zinn, Wismut, Cadmium, Indium, Quecksilber oder Gallium enthalten.

[0019] Weiterhin ist es möglich, die Zwischenräume mechanisch, bspw. durch Spachteln, Pressen, Gießen oder drucktechnische Verfahren zu Verfüllen. Dies erfolgt mit ei-

nem Material, das Elemente mit einer hoher. Kernladungszahl enthält, das vermischt mit oder gelöst in einem flüssigen Klebemittel in die Zwischenräume eingebracht werden. Auch hier kann es von Vorteil sein, während der Verfüllung einen reduzierten Luftdruck oder ein Vakuum aufrecht zu erhalten, um Lufteinschluss zu reduzieren oder zu vermeiden.

[0020] Durch das Aufbringen vorzugsweise zellenartiger, röntgenstrahlabsorbierender Strukturen nur oder vorwiegend in die Zwischenräume zwischen die einzelnen Detektionsbereiche werden Interferenzen mit der Pixelstruktur des Detektors ausgeschlossen. Röntgendetektoren weisen praktisch immer einen Füllfaktor auf, der kleiner als 1 ist. Dies gilt insbesondere für mit Leuchtstoff beschichtete a-Si-Detektorflächen. Auch bei mit Selen beschichteten Detektorflächen differiert der Füllfaktor von 1, besonders bei kleinen Detektionsbereichen oder Pixels. Dadurch ist die Quanteneffizienz vorwiegend in den Bereichen zwischen den Pixel-Flächen reduziert. Wird nun die Primärstrahlung durch die Streustrahlen absorbierenden Strukturen nur zwischen den Pixeln geschwächt, ist dies vorteilhafter zum Erreichen einer hohen Quanteneffizienz als wenn diese Strukturen beliebig angeordnet sind. Moiré-Störungen zwischen den Pixeln und der absorbierenden Struktur sind hierbei nicht möglich. Dies wird mit dem vorliegenden Verfahren erreicht, ohne eine spezielle Konverterschicht mit Tiefpassverhalten vorsehen zu müssen. Daher können feine Details besser erkannt werden und die detektive Quanteneffizienz bei hohen Ortsfrequenzen ist weit besser als mit einer Anordnung gemäß der in der Beschreibungseinleitung genannten US 6,021,173 A. Durch das vorliegende Verfahren zum direkten Aufbringen des Streustrahlenrasters auf den Detektor sind Rasterabbildungen auch bei kürzesten Belichtungszeiten ausgeschlossen. Eine Rastermechanik und -steuerung zur Bewegung des Rasters entfällt. Durch den Wegfall eines konventionellen Streustrahlenrasters in einem Abstand zum Detektor ergibt sich zudem eine verringerte geometrische Vergrößerung und dadurch ein vergrößertes Objekt-Format bei gleicher Detektorgröße.

[0021] Die vorliegende Anordnung des Streustrahlenrasters ermöglicht ein verbessertes Nutzarmachen der Primärstrahlung, da die unvermeidliche Primärabsorption des Streustrahlenrasters in geometrische Bereiche des Detektors fällt, die einen reduzierten Beitrag zum Bildsignal leisten.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird die Geometrie der Grundstruktur exakt entsprechend der matrixförmigen Anordnung der Detektorelemente gewählt, so dass ein zellenartiger Streustrahlenraster entsteht, bei dem die Anordnung von für Röntgenstrahlung durchlässigen Bereichen mit der Anordnung der Detektionsbereiche übereinstimmt. Selbstverständlich sind jedoch auch Anordnungen möglich, bei denen die absorbierenden Strukturelemente lediglich in einer Richtung parallel zu den Zeilen oder Spalten der Detektormatrix verlaufen oder einen treppenförmigen Verlauf aufweisen.

[0023] Vorzugsweise wird die Oberfläche des Detektors vor dem Aufbringen der Grundstruktur mit einer Zwischenschicht beschichtet, um die Haftung der aufgetragenen Grundstruktur zu verbessern. Die Zwischenschicht kann weiterhin zur Verbesserung der Ebenheit der Unterlage sowie zur Verminderung der Wärmeleitfähigkeit zu den Detektorelementen dienen. Die Verminderung der Wärmeleitfähigkeit schützt den Detektor vor Übertemperaturen insbesondere während des Verfüllens der Absorptionskanäle.

[0024] Als Röntgendetektoren, auf die mit dem vorliegenden Verfahren ein Streustrahlenraster aufgebracht werden kann, sind selbstverständlich beliebige Detektorarten möglich. So lassen sich beispielsweise Detektoren mit einem

photoleitenden Material oder auch Detektoren mit einer aufgetragenen Szintillatorschicht einsetzen.

[0025] Das vorliegende Verfahren wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens nochmals kurz erläutert. Hierbei zeigen: [0026] Fig. 1 schematisch die Verhältnisse bei der Röntgenbildaufnahme eines Objekts unter Einsatz eines Streustrahlenrasters;

[0027] Fig. 2 eine Darstellung zur Veranschaulichung der Technik der Stereolithographie;

[0028] Fig. 3 ein erstes Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens;

[0029] Fig. 4 ein zweites Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens;

[0030] Fig. 5 ein drittes Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens;

[0031] Fig. 6 ein Beispiel für die geometrische Anordnung der absorbierenden Strukturen des Streustrahlenrasters in Draufsicht;

[0032] Fig. 7 ein Beispiel für eine Anordnung zur Bewegung des Röntgendetektors während der Aufbringung der Grundstruktur.

[0033] Die typischen Verhältnisse bei einer Röntgenbildaufnahme eines Objektes 3 in der Röntgendiagnostik sind anhand der Fig. 1 schematisch dargestellt. Das Objekt 3 befindet sich zwischen dem Röhrenfokus 1 einer Röntgenröhre, der als annähernd punktförmige Röntgenquelle angesehen werden kann, und einer Detektorfläche 7. Die vom Fokus 1 der Röntgenquelle ausgehenden Röntgenstrahlen 2 breiten sich geradlinig in Richtung des Röntgendetektors 7 aus und durchdringen dabei das Objekt 3. Die auf der Detektorfläche 7 auftreffenden Primärstrahlen 2a, die das Objekt 3 vom Röntgenfokus 1 ausgehend geradlinig durchdringen, ergeben auf der Detektorfläche 7 eine orts aufgelöste Schwächungswertverteilung für das Objekt 3. Ein Teil der vom Röntgenfokus 1 ausgehenden Röntgenstrahlen 2 wird im Objekt 3 gestreut. Die hierbei entstehenden Streustrahlen 2b tragen nicht zur gewünschten Bildinformation bei und verschlechtern beim Auftreffen auf den Detektor 7 das Signal-Rauschverhältnis erheblich. Zur Verbesserung der Bildqualität wird daher ein Streustrahlenraster 4 vor dem Detektor 7 angeordnet. Dieser Streustrahlenraster 4 weist Durchgangskanäle 5 und absorbierende Bereiche 6 auf. Die Durchgangskanäle 5 sind in Richtung des Röhrenfokus 1 ausgerichtet, so dass sie die eintreffende Primärstrahlung 2a auf geradlinigem Wege auf die Detektorfläche treffen lassen. Nicht in dieser Richtung einfallende Strahlen, insbesondere die Streustrahlen 2b, werden durch die absorbierenden Bereiche 6 blockiert oder erheblich geschwächt. Allerdings lassen sich die absorbierenden Bereiche aufgrund der bisher bekannten Herstellungstechniken nur mit einer bestimmten Mindestdicke realisieren, so dass dadurch noch ein erheblicher Teil der Primärstrahlung 2a absorbiert wird und nicht zum Bildeergebnis beiträgt.

[0034] Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren bereitgestellt, das eine sehr präzise Fertigung von Streustrahlenrastern mit sehr dünnen absorbierenden Strukturen bzw. Trennwänden 6 zwischen den Durchgangskanälen 5 direkt auf dem Röntgendetektor ermöglicht. Hierbei wird zur Herstellung des Streustrahlenrasters eine Rapid Prototyping Technik eingesetzt. Ein Beispiel für eine derartige Technik ist die Stereolithographie, wie sie anhand der Darstellung in der Fig. 2 veranschaulicht wird. Bei dieser Technik wird ein UV-Laserstrahl 12 auf die Oberfläche eines flüssigen UV-vernetzbaaren Polymers 10 gerichtet, der sich in einem Behälter 9 befindet. Der UV-Laserstrahl 12 bewegt sich anhand eines dreidimensionalen Volumenmodells

der zu erstellenden Grundstruktur 13 über die Oberfläche des flüssigen Polymers 10, um die Grundstruktur 13 schichtweise aufzubauen. Nach der Verfestigung einer Schicht wird diese über eine Bauplattform 11 um eine weitere Schichtdicke abgesenkt, so dass der UV-Laser 12 die nächste Schicht entsprechend dem dreidimensionalen Volumenmodell verfestigen kann. Auf diese Weise wird Schicht für Schicht die Grundstruktur 13 aus dem vernetzten UV-gehärteten Polymer 10 auf dem in dieser Figur nicht dargestellten Röntgendetektor aufgebaut. Aufgrund der guten Fokussierbarkeit des UV-Laserstrahls 12 lassen sich hierbei sehr filigrane Strukturen mit sehr hoher Genauigkeit realisieren.

[0035] Fig. 3 zeigt ein erstes Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens. In der Figur ist ein Ausschnitt aus dem Detektor 7 mit den aneinandergrenzenden Detektorelementen 14 dargestellt. Die Detektorelemente 14 bilden eine Detektorfläche mit für Röntgenstrahlen empfindlichen Bereichen 15 und unempfindlichen Zwischenbereichen 16. Auf diese Detektorfläche wird nun mittels der Technik der Stereolithographie gemäß Fig. 2 über den Zwischenräumen 16 eine Grundstruktur für die absorbierenden Strukturelemente des Streustrahlenrasters aufgebaut. Diese Grundstruktur 17 besteht aus dem UV-gehärteten Polymermaterial. Anschließend wird diese Struktur 17 mit einem Bleimaterial 18 beschichtet. Nach dieser Beschichtung ist der Streustrahlenraster fertig gestellt. Selbstverständlich muss darauf geachtet werden, dass die Beschichtung 18 nur auf der Grundstruktur 17 vorgenommen wird, so dass die empfindlichen Detektionsbereiche 15 frei bleiben.

[0036] Eine weitere Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens zeigt Fig. 4, bei der die Grundstruktur 17 als Negativ des Streustrahlenrasters über den empfindlichen Bereichen 15 des Detektors aufgebracht wird, wobei die Zwischenbereiche 16 frei bleiben. Anschließend wird in diese freibleibenden Zwischenräume ein Röntgenstrahlung absorbierendes Vergussmaterial 19 eingefüllt, das sich anschließend verfestigt. Im vorliegenden Beispiel wird ein niedrigschmelzendes Blei-Zinn-Indium-Legierungsmaterial verwendet. Vor dem Aufbringen der Grundstruktur 17 kann in diesem, wie auch im vorliegenden oder nachfolgenden Beispiel eine Zwischenschicht 20 auf die Oberfläche des Detektors aufgebracht werden. Diese Zwischenschicht 20 hat eine Schutzfunktion gegenüber der Oberfläche des Detektors.

[0037] Die Grundstruktur 17 kann nach dem Verfüllen und Erhärten des absorbierenden Materials 19 ganz oder teilweise entfernt werden. Sie kann jedoch auch in den Zwischenräumen verbleiben, da sie die Durchlässigkeit der Primärstrahlung nur unwesentlich verringert.

[0038] Im Beispiel der Fig. 5 wird ebenso wie bei der Fig. 4 die Grundstruktur als Negativ des Streustrahlenrasters auf die Oberfläche des Detektors aufgebracht. Anschließend wird eine Galvanikstartschicht 21 auf die Oberfläche aufgebracht. Durch Verbinden der Galvanikstartschicht 21 mit einer Stromquelle und Eintauchen in einen flüssigen Elektrolyten 23 wird schließlich der gesamte Zwischenraum durch galvanische Abscheidung eines stark absorbierenden Materials 22, bspw. Blei, verfüllt.

[0039] Fig. 6 zeigt ein Beispiel für die geometrische Ausgestaltung der mit dem vorliegenden Verfahren erzeugten absorbierenden Strukturelemente auf der Oberfläche eines Röntgendetektors in Draufsicht. In der Figur sind die strahlungsempfindlichen Bereiche 15 zu erkennen, zwischen denen die dünnwandigen absorbierenden Strukturelemente 24 rasterartig angeordnet sind. Die Breite dieser Strukturelemente 24 kann geringer ausfallen als die Zwischenräume 16 zwischen den strahlungsempfindlichen Bereichen. Je nach Dimension dieser Zwischenräume 16 können die absorbierenden Strukturelemente 24 jedoch auch einen geringen

Randbereich der Detektionsbereiche bedecken.

[0040] Neben diesem zellenartigen Aufbau des Streustrahlenrasters lässt sich selbstverständlich auch ein schlitzförmiger Aufbau realisieren, wie er im unteren Teil der Fig. 6 schematisch dargestellt ist. Auch ein anderer Verlauf der absorbierenden Strukturelemente entlang der Zwischenbereiche 16 ist selbstverständlich möglich.

[0041] Bei dem Aufbau der Grundstruktur auf der Detektoroberfläche muss sichergestellt werden, dass die Struktur mikrometergenau mit den Pixelstrukturen überlagert wird. Um diese exakte Positionierung einhalten zu können, muss die genaue Lage der aktuellen Pixelstrukturen mit der aktuellen Position des die Strukturen erzeugenden Laserstrahls in Beziehung gesetzt werden. Hierfür eignen sich bspw. sog. "Fiducial Markers", die die präzise Lage der Pixel auf die Basisfläche der Stereolithographie-Struktur übertragen. Auch Mikroskope, bspw. Infrarot-Mikroskope, die die Lage der Pixel bzw. Detektorelemente exakt erfassen, lassen sich hierbei einsetzen. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass der Laserstrahl mit ausreichender Genauigkeit über die Detektoroberfläche geführt werden kann. Dies kann bspw. auch dadurch erreicht werden, dass der Röntgendetektor auf der Bauplattform mittels Piezoaktuatoren gegenüber dem Laserstrahl verschoben wird. Fig. 7 zeigt hierfür ein Beispiel, bei dem der Röntgendetektor beim Schreiben der Stereolithographie-Strukturen über 8 Piezoaktuatoren 25 in beiden Richtungen verschoben wird. Mit derartigen Piezoaktuatoren 25 sind Verschiebungen bis zu einigen 100 µm mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit möglich. Auch eine leichte Verdrehung des Röntgendetektors kann hierdurch erreicht werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufbringen eines Streustrahlenrasters auf einen Röntgendetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen (14), die eine Detektorfläche mit für Röntgenstrahlung empfindlichen Detektionsbereichen (15) und weniger empfindlichen Zwischenbereichen (16) bilden, bei dem eine Grundstruktur (17) für den Streustrahlenraster mittels einer Rapid Prototyping Technik derart über der Detektorfläche direkt auf dem Röntgendetektor aufgebaut und anschließend mit einem Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material beschichtet oder verfüllt wird, dass eine absorbierende Struktur (24) entsteht, die über den weniger empfindlichen Zwischenbereichen (16) der Detektorfläche liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren der Stereolithographie oder der Mikrostereolithographie als Rapid Prototyping Technik eingesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Geometrie der Grundstruktur (17) entsprechend der matrixförmigen Anordnung der Detektorelemente (14) gewählt wird, so dass ein zellenartiger Streustrahlenraster entsteht, bei dem die Anordnung von für Röntgenstrahlung durchlässigen Bereichen mit der Anordnung der Detektionsbereiche (15) übereinstimmt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfüllen durch Vergießen mit einem verflüssigten, niedrigschmelzenden Material (19) erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfüllen durch galvanische Abscheidung erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, da-

- durch gekennzeichnet, dass die Grundstruktur (17) nach dem Verfüllen ganz oder teilweise entfernt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Beschichten durch Sputtern und/oder galvanische Abscheidung erfolgt. 5
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Aufbau der Grundstruktur (17) eine Zwischenschicht (20) zur Ein-  
ebnung und/oder zum Schutz des Röntgendetektors  
und/oder zur Verbesserung der Adhäsion auf den Rönt- 10  
gendetektor aufgebracht wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Grundstruktur (17) der-  
art aufgebaut wird, dass ein fokussierter Streustrahlen-  
raster entsteht. 15
10. Röntgendetektor mit matrixförmig angeordneten  
Detektorelementen (14) und einem Streustrahlenraster  
aus absorbierenden Strukturelementen (24), der nach  
einem der vorangehenden Patentansprüche aufgebracht  
ist. 20
11. Röntgendetektor nach Anspruch 10, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die absorbierenden Strukturele-  
mente (24) eine Wandstärke von  $\leq 50 \mu\text{m}$  aufweisen.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

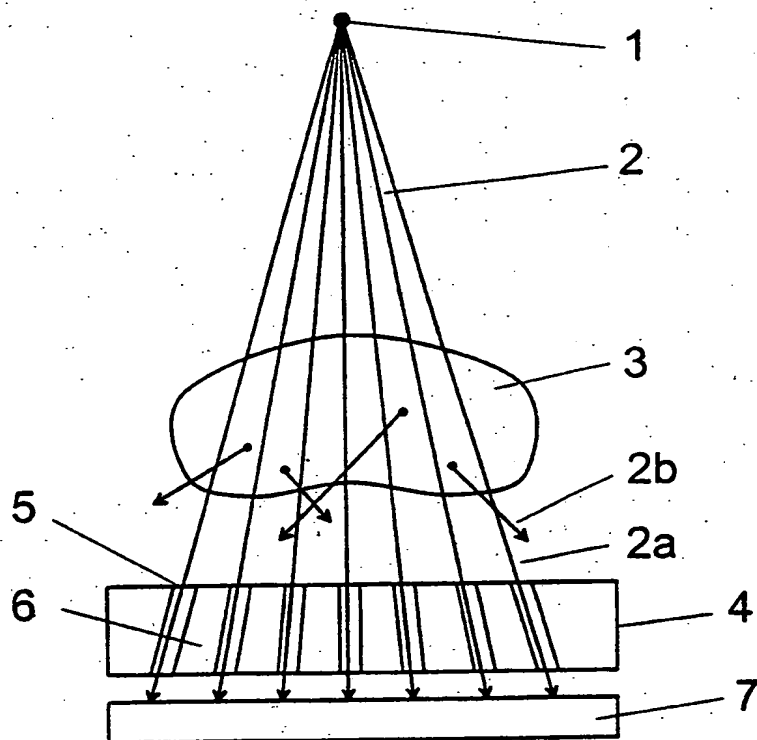


Fig. 1

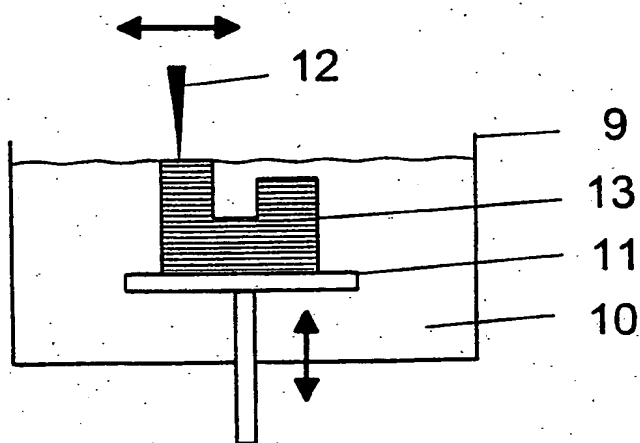


Fig. 2

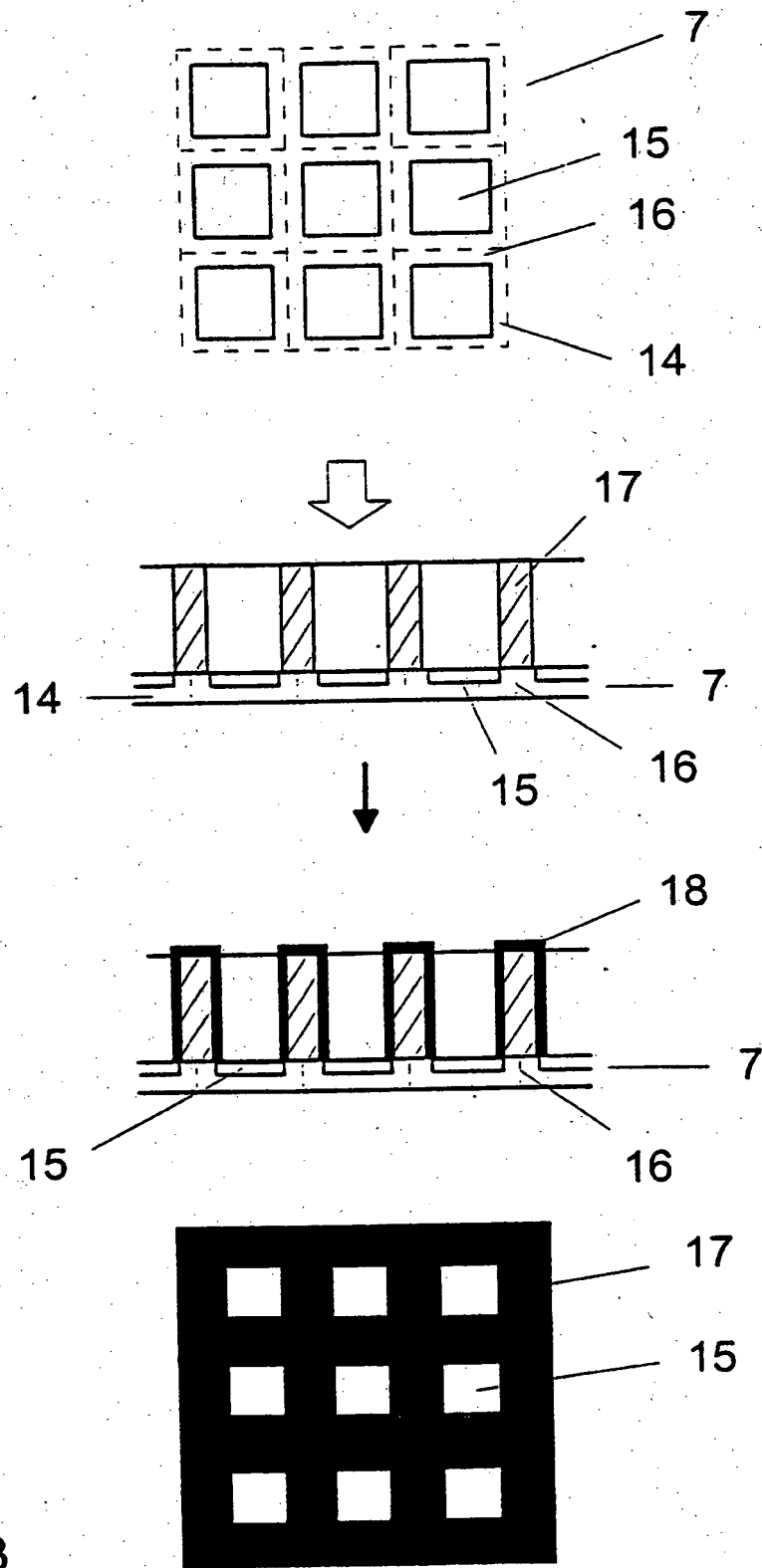


Fig. 3



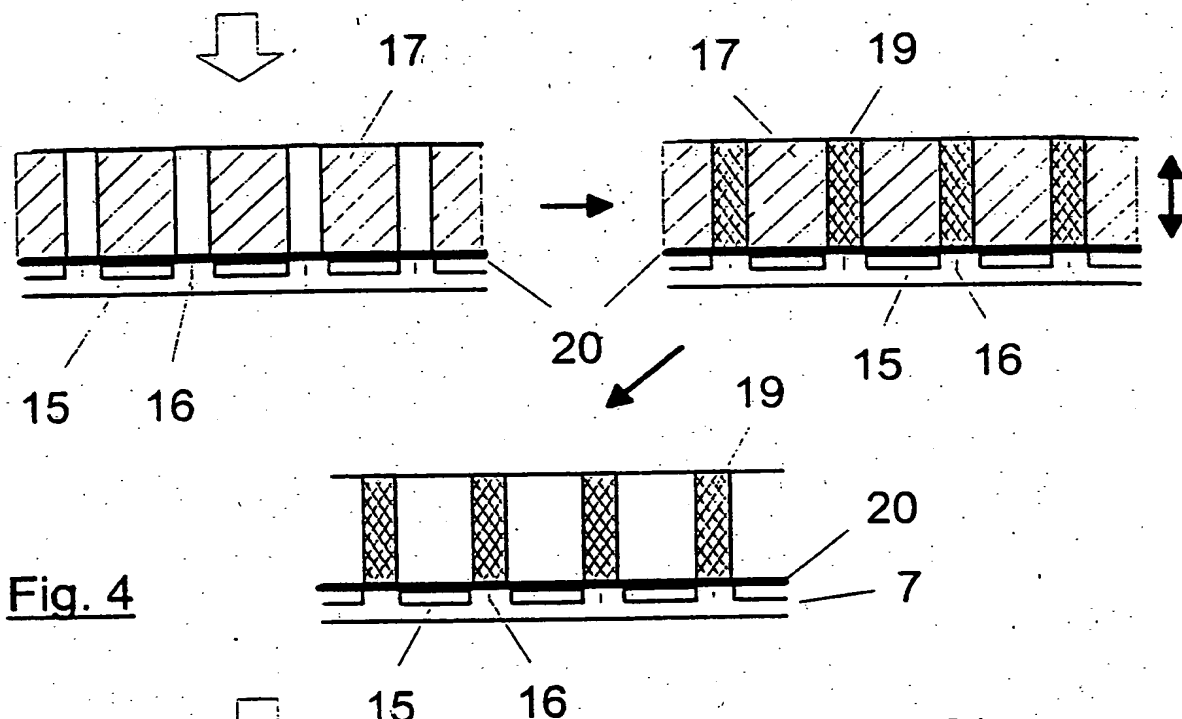


Fig. 4

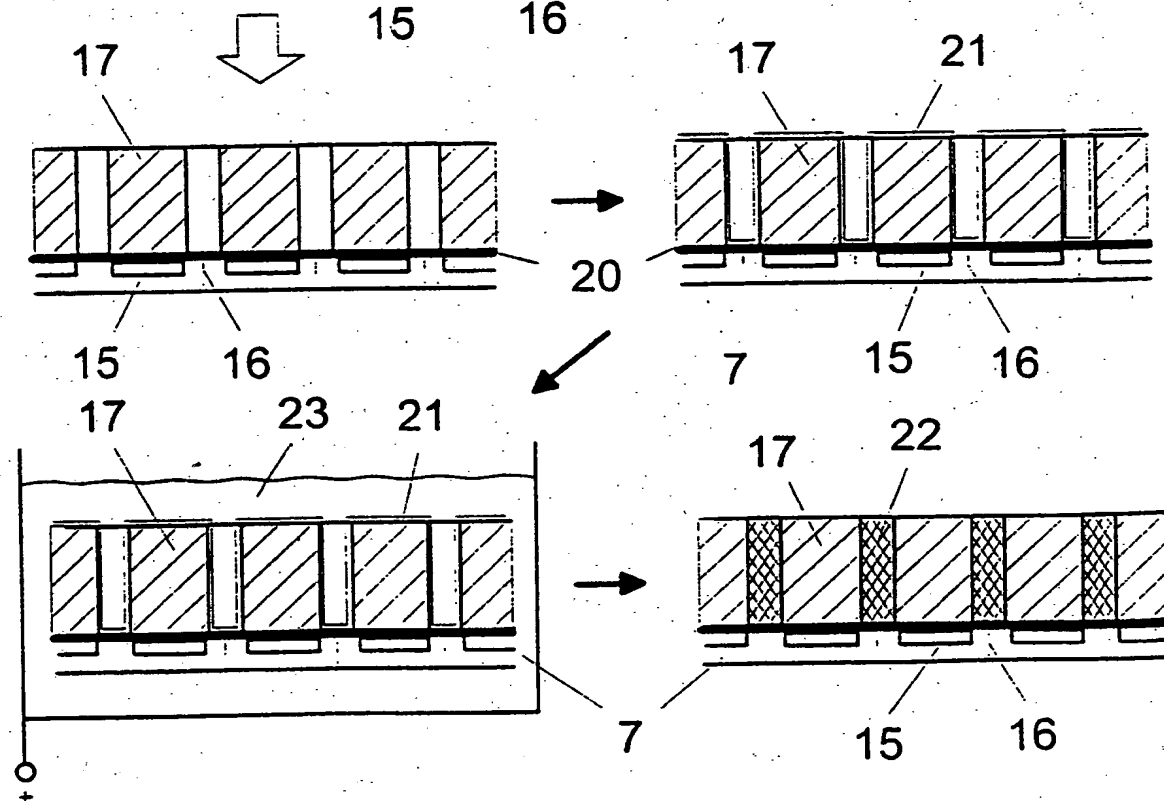


Fig. 5

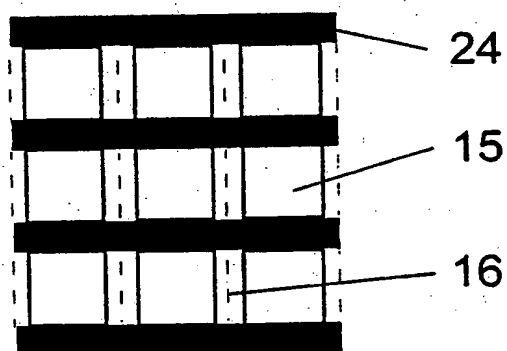
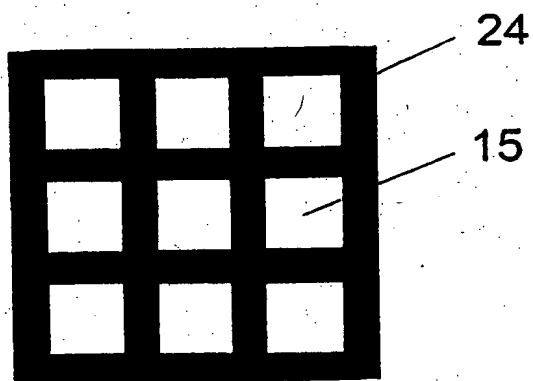


Fig. 6

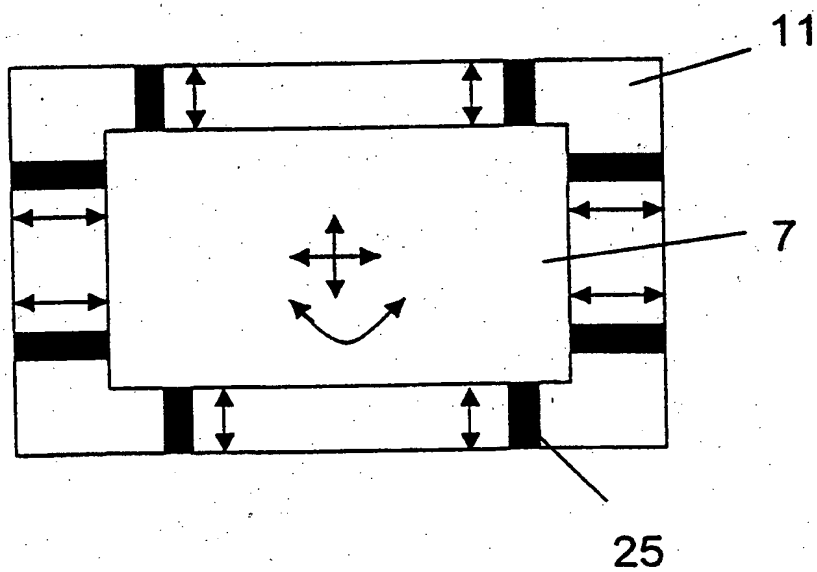


Fig. 7